



## Wireless Sensor Network Visualization Vizualizace bezdrátové senzorové sítě

**BALŠÁNEK, Miroslav**

Ing,  Katedra ATR-352, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, Ostrava – Poruba, 708 33,  
 miroslav.balsanek.fs@vsb.cz

***Abstrakt:** Tato práce je zaměřena do oblasti zpracování dat z bezdrátových senzorových sítí, přičemž je kladen důraz na bezdrátové senzorové sítě MOTE. Společnost Crossbow, která je výrobcem bezdrátových senzorových nodů nabízí široké spektrum bezdrátových modulů, senzorových desek a měřicích karet, které je možné mezi sebou kombinovat a vytvářet tak heterogenní síť sestavenou z různých prvků a měřící různé fyzikální veličiny. Z principu není možné mezi sebou kombinovat bezdrátové moduly, komunikující na různých bezdrátových standardech IEEE, proto se práce zabývá komunikací a vizualizací heterogenní bezdrátové sítě, u nichž se nody liší ve využitých typech senzorových desek, měřicích karet a senzorech. Právě taková heterogenita v síti, která pak není omezena možnostmi pouze jednoho typu měřicích karet, kdy navíc mezi sebou nody mohou komunikovat a navzájem své chování ovlivňovat se jeví jako velmi přínosné.*

*Tato práce se zabývá vytvořením nové vizualizační aplikace ve SCADA/HMI systému Control Web 5, která umožní zpracovávat data z různých typů senzorových desek zapojených v jedné senzorové síti, tyto data od sebe odlišit, přehledně zobrazit a uložit do databáze k dalšímu zpracování.*

***Klíčová slova:** Control Web, SCADA, MOTE, senzor, bezdrátová síť*

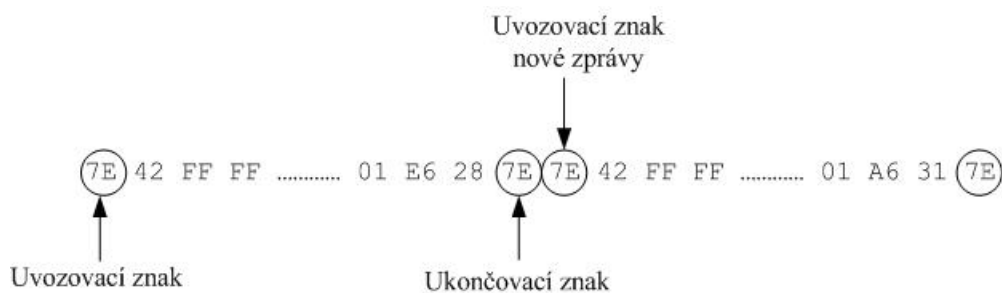
### 1 Úvod

Nody, sběrná stanice a nadřazená aplikace mezi sebou mohou komunikovat. Při tomto procesu si přeposílají zprávy obsahující systémové informace, naměřená a různá doplňková data. Pro tyto účely se využívá standardní TOSMsg řetězec navržený výrobcem systému MOTE ve spolupráci s tvůrci TinyOS operačního systému [TinyOS]. Tento řetězec lze do určité míry modifikovat. Lze měnit význam jednotlivých bajtů v datové sekci, délku celého řetězce apod. Změny systémových dat by měly z důvodu zachování kompatibility zpráv mezi různými aplikacemi probíhat co nejrozměněji. Respektive v řetězci jsou určitá místa, jejichž význam by se měnit neměl.

### 2 Formát příchozí a odchozí zprávy

Při komunikaci ve směru **sběrná stanice** → **nadřazená aplikace**, tzn. při zobrazování naměřených dat, byla snaha využít stávající tvar TOSMsg zprávy z důvodu vyšší univerzality aplikace a jejího snadného modifikování. Příchozí TOSMsg zpráva se z pravidla skládá ze tří částí, které mohou být různé mezi jednotlivými nody a druhy využitých měřicích karet (MDA100, MTS300, MTS510, ...).

První, základní část, tvoří uvozovací a ukončovací znak příchozího řetězce. V tomto případě se při komunikaci po sériové lince využívá hodnota „7E“. Nadřazená aplikace po identifikaci tohoto znaku buď zahájí příjem nového řetězce, nebo ho naopak uzavře a předá k dalšímu zpracování. Pro příklad je na následujícím obrázku uvedena část dvou po sobě jdoucích přijatých řetězců:



Obrázek 1 – Schéma příchozího řetězce

Druhá část přijímaného řetězce obsahuje informace o druhu přijaté zprávy, ze kterého nodu byla informace přijata, jakou měřicí deskou je nod vybaven, informaci o délce datové části zprávy atd. Tato data jsou specifická pro daný měřicí nod.

Třetí, pro měřicí systém nejpodstatnější částí je už zmiňovaná datová část, která obsahuje aktuální naměřená data z jednotlivých senzorů daného nodu. Pořadí těchto dat není řízeno žádnými konvencemi, délka takového řetězce může být v zásadě jakákoliv a záleží pouze na tvůrci aplikace, jak naměřená data seřadí, do jaké podoby je převede a v jaké formě jsou data následně posílána. V této fázi je ovšem výhodou dodržovat praxi, že data ze stejných snímačů na různých měřicích uzlech by měla být zasílána ve stejném formátu a na stejných pozicích v řetězci. Tato praxe je samozřejmě vhodná pro usnadnění práce při vývoji nadřazených aplikací, aby byl vytvářený systém co nejuniverzálnější a jeho tvorba co nejjednodušší. Datovou část zakončuje dvoubajtový kontrolní součet CRC. Následující příklad podrobně dokumentuje jednotlivé bajty v přijaté zprávě. Byly vybrána zprávy ze dvou různých nodů osazených různými typy měřicích karet [THORN 2005]:

```
7E 42 FF FF 00 7D 5D 1D 84 01 03 00 EF 01 F6 01 E8 02 F3 01 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 7F 55 7E
```

```
7E 42 FF FF 00 7D 5D 1D 87 01 01 00 D1 01 F7 01 91 03 24 03 C3 02 5F 02 0E 02 CF
01 9A 18 04 05 00 00 00 00 00 19 17 7E
```

Dosud byly brány v úvahu zprávy ve směru **sběrná stanice** → **nadřazená aplikace**. V případě, že nody budou obsahovat algoritmus pro zpracování a vykonávání příkazů přijatých z jiných nodů, nebo z nadřazené aplikace, je třeba objasnit konvence pro sestavení odchozí zprávy. Jak bylo zmíněno, nemusí se jednat pouze o zprávy z obslužné aplikace **nadřazená aplikace** → **nod**, ale zprávy si mezi sebou mohou posílat i jednotlivé prvky sítě z hierarchicky stejné úrovně **nod** → **nod**. Využití této funkce je zřejmé. Nody tímto způsobem mohou přeposílat naměřená data přes jiný nod do sběrné stanice pokud samy nejsou v jejím dosahu, mohou se samy navzájem ovlivňovat, v závislosti na různých alarmových událostech apod.

Druhý zmíněný důvod, proč stanovit formát odchozího řetězce, je vytváření nadřazené aplikace, která umožní vzdálenou modifikaci prvků v síti. K takovému účelu byl vytvořen odchozí TOSMsg řetězec, který je v podstatě pouhou modifikací příchozího řetězce. Liší se hlavně v datové části, která je celá v režii tvůrce aplikace. V tomto případě je nutné si vytvořit rozbor příkazů, jež budou nody umět vykonávat a přiřadit jim potřebné parametry [THORN 2005]:

Příklad řetězce:

```
7E 41 14 FF FF 08 7D 5D 0B 14 03 00 00 00 05 00 B8 0B 00 00 64 5C 7E
```

### 3 Aplikace MOTEKom 2.1

Existuje několik programových prostředků, sloužících ke komunikaci s bezdrátovou senzorovou sítí MOTE (MOTView, XListen, Terminal, ...). Tyto produkty mohou být ke sledování MOTE sítě přímo určeny, nebo je možné používat obecné aplikace monitorující tok dat na sériové lince nebo Ethernet rozhraní. To je dáno použitým typem sběrné stanice.

Tyto aplikace však mohou mít řadu funkcí, které by nebyly nikdy využity, ale také řada doplňkových funkcí může chybět:

- dostupné aplikace neumožňují sběr dat z různých typů senzorových desek najednou,
- nadřazené aplikace nejsou robustní vůči změnám, prováděným v nesC aplikacích, obsluhujících jednotlivé senzorové nody,
- dostupné nadřazené aplikace jsou náchylné na změnu formátu datového řetězce, který je nodem zasílán,
- nedostačující nástroje ke vzdálenému ovládní prvků v síti, atd.

Pro potřeby této práce byla vyvinuta aplikace MOTEKom ve SCADA/HMI systému Control Web 5.

Tato aplikace úspěšně řeší všechny zmíněné problémy a navíc umožňuje několik různých možností, jak naměřená data uchovávat v databázi.

MOTEKom se tak stal velmi užitečným nástrojem pro obousměrnou komunikaci se senzorovou sítí MOTE, do kterého je možné doprogramovávat další moduly, např. nové typy měřicích desek, algoritmy pro přepočtení naměřených dat z nově použitých senzorů apod.

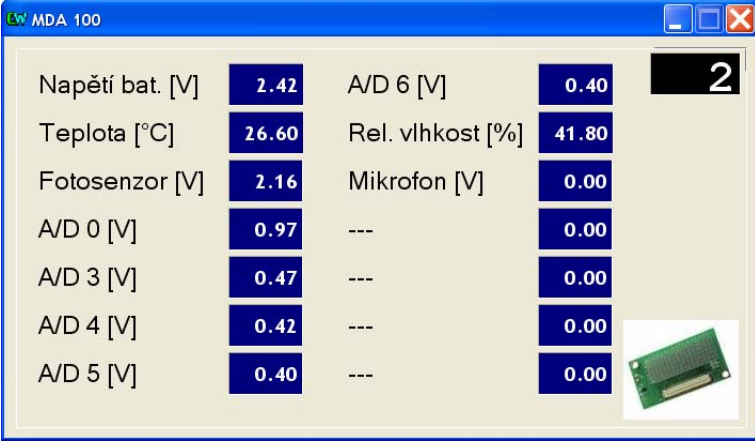
Ke komunikaci se sběrnou stanicí a pak se samotnou senzorovou sítí MOTE byl využit standardně dodávaný ovladač sériové linky ASCII v.5.13.0.0, který je součástí systému Control Web 5.

Vzhledem k formátu přijímaných a odesílaných dat (řetězec obsahuje nulové znaky, které Control Web 5 využívá jako synchronizační), nemohly být využity standardní příkazy pro čtení a zápis dat. Příchozí znaky jsou zaznamenávány výjimkou ovladače.

Při přijímání a odesílání dat bylo postupováno tak, že byly přijímány jednotlivé znaky a synchronizace byla řízena programově.

#### Třídění příchozí zprávy

V následující části je popsáno třídění přijatých zpráv podle čísla nodu a typů senzorových desek. Aplikace umí automaticky rozpoznat, zda-li se jedná o data přijatá z desky typu MDA100 a MTS300. Aplikaci je možné doplnit o další typy senzorových desek.



MDA 100	
Napětí bat. [V]	2.42
Teplota [°C]	26.60
Fotosenzor [V]	2.16
A/D 0 [V]	0.97
A/D 3 [V]	0.47
A/D 4 [V]	0.42
A/D 5 [V]	0.40
A/D 6 [V]	0.40
Rel. vlhkost [%]	41.80
Mikrofon [V]	0.00
---	0.00
---	0.00
---	0.00
---	0.00

The screenshot shows a window titled 'MDA 100' with a table of sensor data. The table has two columns: sensor name and value. The values are displayed in blue boxes. A node number '2' is shown in a black box in the top right corner. A small image of a green PCB is visible in the bottom right corner of the window.

Obrázek 2 – Přehledné zobrazení aktuálních dat z nodu číslo 2

Naměřená a přijatá data jsou tak selektována do proměnných typu pole a následně zobrazována v tabulce a ukládána v databázi pod příslušným pořadovým číslem. Aplikace může přijímat data až ze 255ti nodů najednou. Tento počet je omezen velikostí polí, do kterých se data z nodů ukládají. Nody osazené senzorovou deskou typu MDA100 jsou pak v tabulce zvýrazněny žlutým pozadím a nody se senzorovou deskou MTS300 modrým.

The screenshot shows the 'Příchozí data' window in the MOTEKom v2.1 application. The window title is 'MOTEKom v2.1'. Below the title bar, there are buttons for 'Původní nast.' and 'Nastavení příchozího řetězce' with sub-buttons for 'MDA 100' and 'MTS 300'. The main area contains a table with 17 columns and 3 rows of data. The columns are labeled as follows: 1. Lokální pozice, 2. ID nodu, 3. Měřicí karta, 4. Napětí bat. [V], 5. Teplota [°C], 6. Fotosenzor [V], 7. A/D 0 [V], 8. A/D 1 [V], 9. A/D 2 [V], 10. A/D 3 [V], 11. A/D 4 [V], 12. A/D 5 [V], 13. Rel. vlhkost [%], 14. Mikrofon [V], 15. ..., 16. ..., 17. ...

	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
	Napětí bat. [V]	Teplota [°C]	Fotosenzor [V]	A/D 0 [V]	A/D 1 [V]	A/D 2 [V]	A/D 3 [V]	A/D 4 [V]	A/D 5 [V]	Rel. vlhkost [%]	Mikrofon [V]	...	...	...
1	3 MTS300	2.89	25.50	2.69	0	0	0	0	0	0	1.40	0	0	0
2	1 MDA100	2.73	25.40	2.34	0.94	0.51	0.54	0.51	0.51	50.70	0	0	0	0
3	2 MDA100	2.43	26.80	2.18	0.97	0.47	0.42	0.40	0.40	41.80	0	0	0	0

At the bottom of the window, there are buttons for 'Data', 'Trendy', 'Odesílání zpráv', 'Skrýt nastavení', a file icon for 'node\_003.DBF', 'HELP', and 'Exit'.

Obrázek 3 – Datové okno v aplikaci MOTEKom

Data v příslušných řádcích tabulky jsou aktualizována pokaždé, když je aplikace sestaví kompletní řetězec, tedy po přijetí nové zprávy z nodu, jehož ID souhlasí s ID nodu v konkrétním řádku.

Aktuální data není nutné sledovat pouze v tabulce, ale každý typ senzorové karty vlastní okno, s názvem korespondujícím s typem desky. Toto okno se zobrazí poklepnutím myši na řádek nodu, jehož data jsou vyžadována.

Díky tomuto je možné sledovat průběhy měřených veličin například v přehledných grafech a současně sledovat číselné hodnoty konkrétních veličin.

V případě, že jméno určitého sloupce v tabulce, nebo data zobrazovaná v tomtéž sloupci se změní, změní se také popisky a obsahy zobrazovačů v těchto oknech.

### Změna posloupnosti dat v přijímaném řetězci

Univerzálnost vytvořené aplikace MOTEKom nespočívá pouze ve schopnosti zpracovávat data z různých senzorových desek, ale také ve schopnosti akceptovat změny ve formátu přijatých dat.

Posloupnost odesílaných dat v datové části TOSMsg zprávy je nejprve v rukou programátora nesC aplikace. Nejdříve na něm záleží, na který bajt v odchozí zprávě umístí data z fotosenzoru, baterie, A/D převodníků apod.

Problematiku okolo posloupnosti dat v přijímaných řetězcích lze řešit dvěma způsoby. Pokud jsou k dispozici zdrojové kódy obsluhující nody v jazyce nesC, je nejjednodušší způsob změna pořadí dle uživatelských požadavků.

Pokud však zdrojové kódy k dispozici nejsou, aplikace MOTEKom řeší i druhou možnost, jak se se změnami vypořádat. K celému postupu stačí pouze znalost pořadí, v jakém byla naměřená data odeslána.

Po stisknutí tlačítka „Nastavení“ je možné posloupnosti dat v řetězci nastavit prostřednictvím následujících dvou oken MDA100 a MTS300. *Pozice veličiny v tabulce* řeší, jaký převodový algoritmus bude využit na příslušné pozici v tabulce k převedení přijatých dat z hexadecimální podoby na fyzikální jednotky.

*Pozice dat v řetězci* umožňuje přiřadit bajty k sensorům podle pořadí, v jakém jsou z nodů odesílány.

Takto mohou být přidávány i další typy měřících desek.

Aby v zobrazovaných sloupcích v tabulce nekolidovaly popisky se zobrazovanými daty, po poklepnutí myši na popisky ve sloupcích 4-17 se zobrazí okno nabízející změnu popisku.

Nastavení příchozího řetězce i popisky jsou archivovány a po restartu aplikace jsou vyvolány z paměti a aplikace funguje správně bez nutnosti nových úprav. Původní nastavení je možné vyvolat stisknutím stejnojmenného tlačítka.

Ukládání proměnných je prováděno velmi jednoduchým způsobem. Součástí Control Web 5 je nástroj, který automaticky vytváří záložní soubory jak vytvářené aplikace, tak například použitých proměnných, u kterých je deklarován atribut *backped = true*. Tyto proměnné jsou při každém vypnutí archivovány a při novém spuštění aplikace jsou vyvolány z příslušného archivního souboru.

### **Zpracování přijatých dat a jejich ukládání do databáze**

Samotný příjem naměřených dat by neměl větší smysl bez jejich zpracování, převedení na fyzikální jednotky a následného archivování v některém z dostupných databázových systémů.

Data z různých typů senzorů, kterými je měřicí deska osazena a které jsou připojeny na A/D převodníky procesoru, jsou přímo zpracovávány nodem a jsou převáděny do hexadecimální podoby. Jiné senzory mohou být s nodem propojeny sběrnici (I<sup>2</sup>C, Dallas 1 Wire, ...).

Naměřené hodnoty se pak podle nastaveného pravidla (time driven, event driven, query driven) řadí do datové sekce TOSMsg a jsou zasílána ke zpracování sběrné stanici.

Nadřazená aplikace musí umět rozluštit takto přijatý řetězec, selektovat data z konkrétních snímačů a podle převodního algoritmu je převést z hexadecimální podoby do příslušných jednotek.

V grafech a historických trendech pak lze zobrazovat aktuálně naměřená data, nebo s využitím archivních souborů také data naměřená v minulosti. Control Web 5 obsahuje kompletní nástroj zajišťující archivaci a zobrazování archivovaných hodnot v tabulkách a grafech.

### **Archivace dat**

V této aplikaci jsou využity dva nástroje pro ukládání naměřených dat v databázi. První způsob využívá archivovací přístroj *Archiver*, který ukládá naměřená data do souboru s příponou \*.DBF. Toto je základní typ archivního souboru, který je Control Webem 5 využíván. Data z každého měření budou zaznamenávána do řádků s příslušnou časovou značkou.

Výhoda této metody je v její jednoduchosti a univerzálnosti. Není nutné dopředu vytvářet archivní soubory, naopak aplikace, když zjistí v dosahu nod s dosud nezaznamenaným ID, vytvoří pro něj vlastní soubor podle přednastavené šablony.

Druhý způsob jak ukládat naměřená data je nastavení archivních souborů v datových elementech systému Control Web 5.

Tímto způsobem budou automaticky generovány tabulky v předem nadefinovaném databázovém souboru typu MDB. Data z každého měření budou zaznamenávána do řádků s příslušnou časovou značkou podle Juliánského kalendáře.

### **Odesílání dat do senzorové sítě**

Další nedílnou součástí vytvořené aplikace je nástroj pro odesílání zpráv do senzorové sítě MOTE. Díky tomuto nástroji je umožněno vzdálené měnění parametrů sítě, zapínání a vypínání nodů apod. K odesílání zpráv z aplikace MOTEKom byl použit podobný algoritmus jako při přijímání zpráv.

Nejprve je sestavena datová část TOSMsg a k ní jsou připojeny veškeré další parametry, potřebné k úspěšnému doručení příkazu ke svému cíli. Mezi tyto parametry patří výpočet

kontrolního součtu CRC [Octave Technology], ověřujícího konzistenci odesílaných dat, dále nutná záměna vyhrazených dat příslušnými náhradami, připojení uvozujícího a ukončujícího znaku na začátek a konec zprávy atd.

Aplikace MOTEKom 2.1 disponuje celou řadou příkazů, ovlivňujících chod sensorové sítě. Je možné nastavit cílový nod, jestli bude zpráva doručena všem nodům, nebo jen jednomu jedinému.

Odchozí řetězec je sestavován automaticky, po nastavení požadovaných parametrů:

- Vypnout nod/nody
- Zapnout nod/nody
- Dotaz na jedno měření
- Aritmetický průměr z měření
- Zapnout/Vypnout přeposílání
- Synchronizovat
- Klouzavý průměr
- Událostní měření teploty
- Událostní měření
- Exponenciální zapomínání

## 5 Závěr

Práce se zabývala problematikou zpracování dat z bezdrátových sensorových sítí. Hlavním problémem při zpracování dat ze sítě MOTE se zdálo propojení různých druhů měřicích karet a sensorových desek, připojených s bezdrátovými moduly komunikujícími na bezdrátovém standardu IEEE 802.15.4 (ZigBee), do jedné sítě.

Prvním problémem bylo zpracování komunikačního řetězce TOSMsg do formátu, který vyhovoval požadavkům na síť, přičemž cílem bylo co nejvěrněji kopírovat vžitý standard TOSMsg a doplnit jej na volných pozicích o potřebné informace.

Vzhledem k požadavkům byla ve SCADA/HMI systému vytvořena nová aplikace MOTEKom, která řeší následující problematiku:

- aplikace umožňuje sběr dat z různých typů sensorových desek najednou,
- nadřazená aplikace je robustní vůči změnám, prováděným v nesC aplikacích, obsluhujících jednotlivé sensorové nody,
- nadřazená aplikace není náchylná na změnu formátu datového řetězce, který je nodem zasílán,
- široké možnosti ke vzdálenému ovládní prvků v síti, atd.

Tato aplikace umožnila využívat heterogenní prvky v síti a jejich data zobrazovat v jediné aplikaci a z jediné aplikace je všechny také ovládat. Součástí aplikace je také ukládání dat do databáze a prezentace dat v prostředí internet/intranet.

## 6 Použitá literatura

Control Web. *Elektronická nápověda Control Web 5*. Moravské přístroje. dostupný z: <http://www.mii.cz/>, [10.4.2007].

Crossbow, *Manuál MOTE*, dostupný z: <http://www.xbow.com/index.aspx/>, [10.4.2007].

FARANA, R., SMUTNÝ, L. & VÍTEČEK, A. 1999. *Zpracování odborných textů z oblasti automatizace a informatiky*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1999. 68 s. ISBN 80-7078-737-6.

NOSKIEVIČ, P. 1999. *Modelování a identifikace systémů*. Ostrava: MONTANEX a.s., ISBN 80-7225-030-2.

TinyOS. *Operační systém TinyOS*, dostupný z: <http://www.tinyos.net/>, [10.4.2007].

THORN, J. *Deciphering TinyOS Serial Packets*. Octave Technology, 2005, 9 s.